

# Design of Low Latency and High Reliable Industrial Wireless LAN System

著者	Astri Maria Kurniawati
発行年	2020-09-25
その他のタイトル	低遅延・高信頼産業用無線LANシステムの設計に関する研究
学位授与番号	17104甲情工第350号
URL	<a href="http://hdl.handle.net/10228/00007929">http://hdl.handle.net/10228/00007929</a>

氏 名	ASTRI MARIA KURNIAWATI (インドネシア)
学位の種類	博 士 (情報工学)
学位記番号	情工博甲第350号
学位授与の日付	令和2年 9月25日
学位授与の条件	学位規則第4条第1項該当
学位論文題目	DESIGN OF LOW LATENCY AND HIGH RELIABLE INDUSTRIAL WIRELESS LAN SYSTEM (低遅延・高信頼産業用無線 LAN システムの設計に関する研究)
論文審査委員	主 査 教 授 尾 知 博 "       ケッペン マリオ 准教授 黒 崎 正 行

## 学 位 論 文 内 容 の 要 旨

ワイヤレス通信の新たなトレンドとして、産業オートメーション (FA) システムへの応用は、学界と産業界の両方で多くの注目を集めている。工場環境での物理的なネットワーク設置コストの削減可能性、および現在複数存在する有線工業用イーサネット国際規格に対し共通の無線方式が利用できるという利便性のため、産業用ネットワークの無線化が検討されている。産業用無線ネットワークシステムの主な技術的課題は、有線システムと同等の低遅延性と高信頼性の確保である。具体的には、端末間遅延が 100 $\mu$  秒以下、3年に1度以下のシステムエラーという厳しい信頼性が要求されている。これらの技術課題を克服するために、本論文では、無線 LAN をベースとする FA 無線ネットワークシステム (以下 FAWLAN) 用の低遅延・高信頼のワイヤレスシステムを提案している。その実現のため、FAWLAN システム向けの高スループットかつ低遅延な PHY (物理層) トランシーバシステムのハードウェア設計が必要となる。

これに対応して、まず本論文の1番目のポイントとして、FAWLAN システムの設計において、PHY 層と MAC 層のトレードオフを緩和するためのクロスレイヤー設計方法を検討している。ここでは、特に信頼性性能を改善するために、MAC 層で再送要求に基づき信頼性の高いチャネル選択を行い、PHY 層でパケットデータを実際に再送信する方式を検討している。

次いで、2番目のポイントとしては、性能の改善、特に低遅延通信に関する信頼性性能の改善方法について検討している。提案方法は、複数の送信チャネルを利用する周波数ダイバーシティ方式を提案している。そこで、複雑性の低い隣接チャネル選択方法を提案している。さらに、FAWLAN システムのシステムレベルの性能を確認するため、遅延と信頼性の観点から PHY 層の回路設計に対するロジックレベルの性能を評価している。

論文の構成は、以下の通りである。

## 第1章 序章

産業用ネットワークの背景について解説している。

## 第2章 産業用無線 LAN システムの概要

この章では、産業用ワイヤレスシステムの性能要件、特に信頼性と遅延のメトリックについて概説している。産業用制御アプリケーション向けの既存のワイヤレステクノロジーの概要と、信頼性と遅延を改善するためのいくつかのアプローチについても説明し、基本的な概念を示している。さらに、産業現場環境におけるワイヤレスチャネルの特性の、ワイヤレスシステムの性能に影響する関連問題について指摘している。これにより、FAWLAN の信頼性と遅延性の性能を向上させるために、幾つかの研究開発タスクの必要性を具体的に指摘している。

## 第3章 クロスレイヤー設計方法論

この章では、エネルギー効率、低遅延、高信頼性の要件の間で最適なトレードオフを実現するために、クロスレイヤー設計について提案している。クロスレイヤー最適化は、無線アクセスのバックボーンとして使用されるメディアアクセスレイヤー (MAC 層) および物理レイヤー (PHY 層) 内で実行されます。最適化には、システムレベルの設計、低電力対応プロトコルおよびリソース管理、信号処理アルゴリズム、トランシーバーシステムの回路設計技術が含まれる。また、具体的なシミュレーション結果によりクロスレイヤー最適化の有効性を示している。

## 第4章 高スループットおよび低遅延の PHY 設計

この章では、WLAN 標準 (IEEE 802.11ac) に基づく産業用ワイヤレスシステムの高スループット物理層 (PHY) の設計に焦点を当てている。PHY システムの設計は、クロスレイヤー設計の結果も反映し、モデルベースの回路設計方法に基づいて実行されている。さらに、PHY 設計全体の実装とその体系的な論理検証評価についても説明している。

## 第5章 高信頼トランシーバーシステム

この章では、低通信遅延を維持しながら信頼性要件を改善するために、チャネル選択性を備えた再送信スキームについて提案している。提案された方法は、以下のような複雑さの低い操作を実装することによって実現される周波数ダイバーシティを利用している。基本アイデアは、単純なサブチャネルの選択と送受信間のフィードバック情報の回避である。したがって、この方法は、オーバーヘッドが低く、待機時間が短い通信を提供し、さらに高速伝送を可能にする。提案方法の有効性を示すために、FAWLAN ユースケースでのリンクレベルとシステムレベルの評価を示している。

## 第6章 結論と今後の取り組み

この章では、論文の概要と得られた結果をまとめている。さらに、今後の研究タスクについて言及している。

以上のように、本論文の内容は、産業用ネットワークの無線化に多大な貢献をするものである。

### **学 位 論 文 審 査 の 結 果 の 要 旨**

令和2年7月10日の公聴会において、設計回路の低消費電力性の根拠、周波数ダイバーシティの他の手法との比較、チャネル選択切り替え時間とチャネルの時間相関との関係などについて質問がなされたが、いずれも著者から満足な回答が得られた。

また、公聴会においても、オンライン出席者も含め52名もの多数の出席者があり、種々の質問がなされたが、いずれも著者の説明によって質問者の理解が得られた。

以上により、論文調査及び最終試験の結果に基づき、審査委員会において慎重に審査した結果、本論文が、博士（情報工学）の学位に十分値するものであると判断した。